

Report on the demonstration of **Multiple uses of Drones**

実証実験報告書



目次 | Contents

01	レーザースキャナ搭載ドローンによる道路排雪量の計測実証	P01
02	粒剤散布機搭載ドローンによる屋根雪庇の融雪実証	P04
03	遠隔スプレー缶噴射ドローンによる道路縁石マーキング実証	P07
04	苗木運搬ドローンによるフレンチフルコース配送実証	P10
05	農薬散布ドローンによる商業ビル外壁洗浄実証	P13
06	非 GNSS 対応自動飛行システムによる法面の計測実証	P16
07	サーチライト搭載ドローンによるライトアップ演出実証	P18
08	近赤外線カメラ搭載ドローンによる投棄ゴミ検出実証	P20
09	測量用 RTK 搭載ドローンによる風力発電の自動点検実証	P22
10	冬季環境テスト	P24

実証の目的

レーザースキャナを搭載したドローンで冬季の道路除雪の一環である道路排雪量の計測実証実験を行いました。従来の手動による堆雪量の計測と iPad の LiDAR 機能を使った計測、ドローンレーザーによる計測の 3 種類を比較し、作業人員・作業時間・計測精度について検証しました。ドローンレーザーによる道路排雪量の計測による優位性や課題を整理し基礎データをまとめました。



定規による従来手法

実施概要

場 所：北海道留萌市
(国道 231 号線 オロロン街道)
日 時：2024 年 1 月 17 日
天 候：曇り
外 気 温：-1℃
風 速：4m/s
計測対象：浜中路線 延長 900m

対象範囲を積雪前と積雪後にドローンレーザーで点群データを取得し、重ね合わせたその差から積雪量を推定します。



iPad-LiDAR による計測

使用機種

使用機種：DJI 社製 MATRICE350RTK, Zenmuse L2
点群解析：DJI 社製 TERRA
差分解析：福井コンピュータ社製 TrendPoint

機体名	MATRICE350RTK
サイズ	対角 895mm
重量	6.47Kg
最大飛行時間	55 分
推奨動作温度	-20℃~50℃
風圧抵抗	12m/s

レーザー	ZENMUSE L2
測距精度	2cm@150m
RTK 測位精度	1.5cm+1ppm
照射点数	1,200,000 点 / 秒

法規制等

道路交通法（道路使用許可）、人口密集地上空における飛行（航空法第 132 条第 1 項第 2 号）、人または物件から 30m 以内の飛行（航空法第 132 条の 2 第 1 項第 7 号）、「交通量の多い一般道」に該当するため航空局標準マニュアルを一部変更して申請。



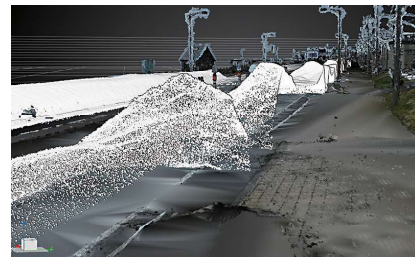
実施手順

1. 積雪前(2023年12月)の計測対象範囲をドローンレーザーで計測し、事前に点群データを取得します。(写真測量でも可)※初年度のみ取得しておけば翌年以降は作業は不要になります。



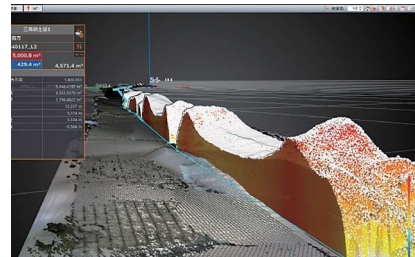
積雪前道路点群

2. 積雪後(2024年1月)の計測対象範囲をドローンレーザーで再度計測します。(写真測量では雪上の特徴点が少ないため抜け落ち等が発生)。



レーザーによる積雪点群

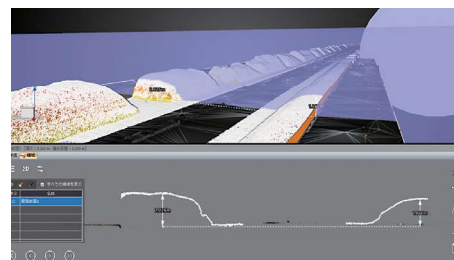
3. 積雪前と積雪後の点群データを重ね合わせて差分解析します。歩道部分については除雪対象にならないため、解析結果から歩道部分のみ削除しました。



ボリューム解析(歩道部除く)

検証結果

従来手法は任意箇所を定規で幅と高さから断面を計測(従来計測_1)。iPad-LiDAR計測は、iPadに搭載されたLidarで任意点の点群から断面を計測(ipad-Lidar計測_2)。ドローンレーザーによる点群の差分解析_3。それぞれについて比較しました。



断面による解析

	従来計測_1	iPad-LiDAR_2	ドローンレーザー_3
必要人員	5名	2名	2名
現場作業	60分	10分	20分
事務作業	30分	20分	60分
推定堆雪量	13,725 m ³	9,630 m ³	6,192 m ³

※通常、従来手法とiPad-LiDAR計測については、推定積雪量に対して道路間口分等を考慮し、補正係数を乗じて排雪ダンプ台数、排雪日数等を計画します。今回は検証のため補正前データを使用しています。

まとめ

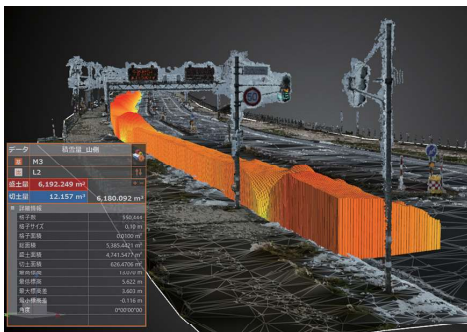
検証の結果、レーザースキャナを搭載したドローンでの計測は、従来手法と比べて積雪量を精度高く推定できることがわかりました。検証の数値をダンプ1台あたり14 m³として排雪台数になおすと従来手法 980 台、iPad-LiDAR 687 台、ドローンレーザー 442 台となり、最大 538 台の誤差がありました。作業日数にして 2.5 日分の誤差が生まれていることがわかりました。（※実際は従来手法並びに iPad-LiDAR はこの数字に補正係数を乗じて計画します。）ドローンレーザーを使うことで、排雪ダンプの手配や作業日数の見通しなど事前計画を緻密に立てることが期待できます。ただし事前に道路面データを取得する必要があるため、また荒天時はドローンが飛行できない等の課題があります。作業時間については、従来手法、iPad-LiDAR の計測に分があるため、緊急性などの状況に応じた対応が必要になります。今後は ICT 建機等の組合せなどでさらに有効に使用できる可能性があります。



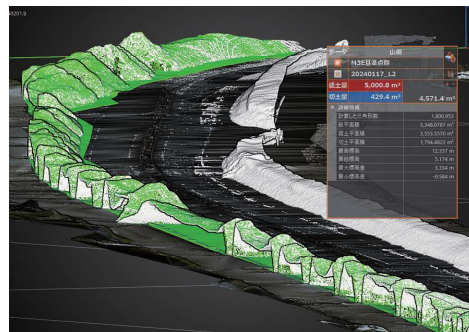
積雪前



積雪後



ボリューム解析



積雪量計算

	断面積	延長	補正前排雪量	係数	補正排雪量	排雪台数	排雪日数
従来手法	15.25 m ³	900m	13,725 m ³	0.7	9,607 m ³	687 台	3.2 日
iPad-Lidar	10.7 m ³	900m	9,630 m ³	0.7	6,741 m ³	482 台	2.3 日
ドローンレーザー	——	900m	6,192 m ³	1.0	6,192 m ³	442 台	2.0 日

実証の目的

粒剤散布装置を搭載したドローンで冬季の屋根雪庇の融雪実証実験を行いました。道内では屋根からの落氷雪や雪下ろし作業中の転落事故で毎年 100 件以上の人身事故が起きています。粒剤散布ドローンを使用した融雪剤の散布で、安全に雪庇を落下させることができるか、融雪剤散布作業について作業人員・作業時間・コストについて整理しました。



融雪剤

実施概要

場 所：北海道札幌市（一般住宅街）
（国道 231 号線 オロロン街道）
日 時：2024 年 2 月 17 日
天 候：晴れ
外 気 温：-1℃
風 速：1m/s
計測対象：一般住宅の屋根雪庇
長さ 9m 高さ 60cm 奥行 45cm

対象の屋根に発達した雪庇に対して、真上から融雪剤を散布して消雪もしくは落雪させることができるか検証しました。



発達した屋根雪庇

使用機種

使用機種：DJI 社製 AGRAS T10、粒剤散布装置
融 雪 剤：ギ酸ナトリウム系融雪剤

機体名	AGRAS T10
サイズ	対角 1480mm
重 量	12.2Kg
最大飛行時間	17 分
推奨動作温度	0℃~45℃
風圧抵抗	8m/s

融雪剤	
主要成分	ギ酸ナトリウム
散布目安	50g/㎡
価 格	154 円/Kg

法規制等

人口密集地上空における飛行（航空法第 132 条第 1 項第 2 号）、人または物件から 30m 以内の飛行（航空法第 132 条の 2 第 1 項第 7 号）、危険物輸送（航空法第 132 条の 2 第 1 項第 9 号）、物件投下（航空法第 132 条の 2 第 1 項第 10 号）。



実施手順

1. 融雪剤を粒剤散布のタンクに投入する (m2 あたり 40~120g)。
※近隣へのドリフト防止および雪庇への集中投下のため、風防をつけています。市販の梱包用ラップ巻付け)。



通常の粒剤と同様

2. 雪庇直上 1~2m 程度飛行し、平米あたり 100g を目安に散布します。今回は 9m×1m なので、1 フライトあたり 0.9kg を散布しました。



ドローンによる融雪剤散布

3. 融雪剤が浸透するまで 30~60 分程度かかるので待機し、融雪が止まったように見えたら再度散布を行います。これを消雪もしくは落雪するまで繰り返します。



融雪剤散布後の屋根の雪

検証結果

粒剤散布ドローンで融雪剤を散布した結果、3 回ほど散布を繰り返した結果、雪庇が落雪するに至りました。使用した融雪剤は 2.3kg ですが、3 回目の散布時には 7 割程度落雪していたため、3 回目は不要だった可能性があります。散布後の融雪待ちの時間が 30 分程度ありましたので、落雪に至るまでの時間は 2 時間ほど要しました。



融雪剤散布前



融雪剤散布後

	1 回目	2 回目	3 回目
散布量	0.9kg	0.9kg	0.4kg
作業時間	2 分	2 分	2 分
雪庇高さ	60cm	45cm	0cm

※作業については、周辺環境により 1 名でも可能でした。

融雪剤の選定については、屋根への影響が少なく実績あるものを選定しました。

まとめ

検証の結果、粒剤散布装置搭載ドローンを使用して屋根雪庇の融雪ができました。今回の雪庇落としに使用した融雪剤の総散布量は 2.3kg でコストにして 354 円でした。今後、粒剤散布装置を使用した融雪剤の散布は、屋根の素材・傾斜角や積雪深によっては、雪庇に限らず雪下ろし自体ができる可能性があります。また高層ビルや屋外看板、鉄橋や高圧線等の着雪への応用への期待できます。ただし外気温や雪庇の雪質など環境によっては落雪・消雪が困難な場合も考えられ、融雪剤についても種類や粒剤と液剤どちらが良いかなど、実施可能かどうかをさまざまな条件で実証を重ねることさらに有効利用できる可能性があります。

また、対象の雪庇が結氷していて融雪剤で落雪できないことを想定し、以下の落雪手法も追加で検証しました。ドローンを使ってロープを雪庇に回すことで、ノコギリのように雪庇を切ることが可能です。(運搬器具については後述「ドローンによるフレンチの配送」で使用したものと同様のものを使用しています。



ロープの運搬 -1



ロープ設置 -2



人力による切断作業 -3



落雪 -4

実証の目的

遠隔スプレー缶噴射装置搭載のドローンで除雪機（ロータリー車）が除雪の基準とする歩道縁石の位置にマーキング剤を噴射します。スノーポール等の目印が無い道路での除雪は、作業員の長年の経験と勘に頼った作業になります。雪で隠れて見えない縁石直上にドローンで目印をつけることで、除雪作業員が勘に頼らず安全に作業できるか確認しました。



積雪前路線

実施概要

場 所：北海道留萌市
(国道 231 号線 オロロン街道)
日 時：2024 年 3 月 1 日
天 候：晴れ
外 気 温：-5℃
風 速：3m/s
計測対象：浜中路線の一部 延長約 200m

対象の除雪予定の路肩上の堆雪にたいして、スプレー缶搭載ドローンで真上から縁石位置にマーキングし目印がわりに使用できるかを検証しました。



縁石位置での排雪

使用機種

使 用 機 種：MATRICE350RTK、DRTK-2
遠隔スプレー装置：東洋製罐株式会社製 SABOT-3
自動飛行システム：東洋製罐株式会社製アプリ

機体名	MATRICE350RTK
サイズ	対角 895mm
重量	6.47Kg
最大飛行時間	55 分
推奨動作温度	-20℃~50℃
風圧抵抗	12m/s

遠隔スプレー装置	SABOT-3
サイズ	379×93×123mm
重量	525g
スプレー缶	マーキング剤（赤）

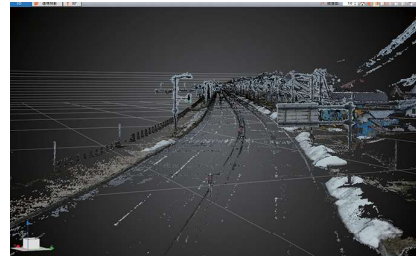
法規制等

道路交通法（道路使用許可）、人口密集地上空における飛行（航空法第 132 条第 1 項第 2 号）、人または物件から 30m 以内の飛行（航空法第 132 条の 2 第 1 項第 7 号）、危険物輸送（航空法第 132 条の 2 第 1 項第 9 号）、物件投下（航空法第 132 条の 2 第 1 項第 10 号）、「交通量の多い一般道」に該当するため航空局標準マニュアルを一部変更して申請。

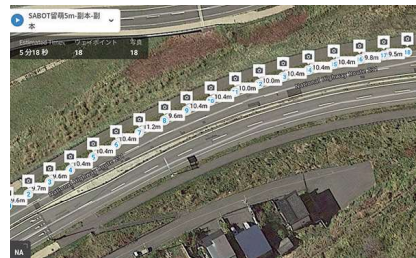


実施手順

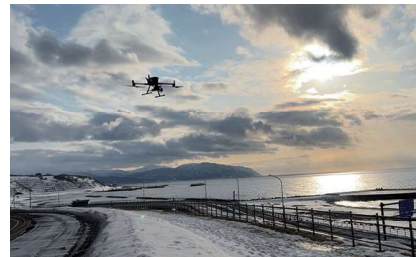
1. 道路縁石位置の座標データを取得します。
(GPS 観測機やドローンの写真測量成果も利用可) 今回は、「レーザースキャナ搭載ドローンによる道路排雪量の計測実証」の路面データを使用しました。
2. 取得した縁石位置を自動飛行アプリに入力し、自動飛行ルートを作成します。作成した点がマーキング実施位置になるので、5~10m 間隔になるように配点します。
3. 除雪作業当日もしくは前日に、自動飛行アプリで作成した飛行を実施します。現地では、積雪高を確認して対象物からの離隔を2~3m 程度になるように飛行高度を調整します。



道路点群



自動マーキング位置



ドローンによるマーキング作業

検証結果

遠隔スプレー缶噴射装置を使用して道路縁石直上に自動飛行によるマーキングを実施しました。地元の建設会社の協力で除雪作業1年目の若手作業員にロータリー車でマーキングを目印に除雪作業をしてもらいました。作業担当者からは目印があることで安心して作業を進めることができ、安全面でも有効であると感想をいただきました。



雪面のマーキング



作業員目線

	1 回目	2 回目	3 回目
作業時間	18 分	13 分	10 分
人 員	2 名	2 名	2 名
スプレーコスト	5,500 円	5,500 円	5,500 円

※コストと作業時間については、設定するマーキング間隔によって異なります。

※今回特注でスプレー缶を作成したため高コストとなりましたが、スプレー缶が量産されることでコスト低減が見込まれます。

除雪作業担当者の感想

普段は建設重機を操縦して土木工事を担当しています。今季はじめて除雪車両のロータリー車に乗りましたが、建設重機と比べて真っ直ぐ走るのも難しく感じます。普段は道路幅などを目測で確認しながら作業を進めています。今回ドローンによるマーキング位置を目安にすることができたので、安心して作業を行うことができました。経験の浅い作業員にとって、非常に助かるツールだと思います。

株式会社 堀口組 除雪重機オペレーター 23 歳
除雪経歴：1年目



スプレー作業中画面



マーキングを活用した除雪



除雪作業後



精度検証

まとめ

検証の結果、遠隔スプレー缶噴射装置を搭載したドローンを使用した雪上へのマーキングが除雪作業員の目印として有効であることがわかりました。今回は縁石位置のみでしたが、ガードレールや看板等の工作物に対する目印としても応用可能と思われます。ただしスプレー噴射後に積雪があった場合は、新雪によって埋もれてしまいます。作業は直前に限られることや事前に噴射位置の座標が必要など使用には一定の制限があります。遠隔スプレー缶噴射装置を使用する注意点としては、液剤自体が凍結しないように直前まで常温を維持する等の取り扱いが必要になります。また強風時は、噴射後の液剤が風に流されるため、精度に影響を与えます。その際は飛行高度を下げた極力対象面と近づける必要があります。作業自体は200mの路線に対して10mおきにマーキングし、合計18点の目印を設置で8分程度で完了できました。車両が道路通行時には退避する等の安全対策を実施しながらの作業になるので、交通状況によって作業時間は大きく異なります。

マーキング位置	X	Y
RT29	-0.157	0.015
RT38	-0.07	0.053
RT44	0.185	0.028

※マーキング位置とドローン位置はオフセット分を補正しています。

実証の目的

苗木運搬用ドローンでフレンチフルコースの配送を行います。フルコースメニューに合わせてドローンを使った配送を行うことで、暖かい出来立ての料理をどこでも素早く運ぶことができるかを検証します。北海道の豊かな食材やロケーションを活かしたケータリングサービスは、インバウンド観光客に非常に人気が高いコンテンツのひとつです。ロケーションの制約を受けずに絶景の中で北海道フレンチフルコースを愉しむプレミアム体験は、新たな観光コンテンツとして期待ができます。

使用機種

使用機種：DJI 社製 AGRAS T30

運搬用吊り具：南栄工業株式会社

ロック式フック ROCKMAN

配送ケース：フリップボックス 39L+3D プリンタ

機体名	AGRAS T30
サイズ	対角 2,145mm
重量	26.4Kg
最大飛行時間	20.5 分
推奨動作温度	0℃~45℃
風圧抵抗	8m/s

吊り具	ROCKMAN
サイズ	195×135×20mm
重量	700g
積載可能重量	1.5~30kg



実施概要

場所：北海道有珠郡壮瞥町

(洞爺湖有珠山ジオパーク)

日時：2024年2月7日

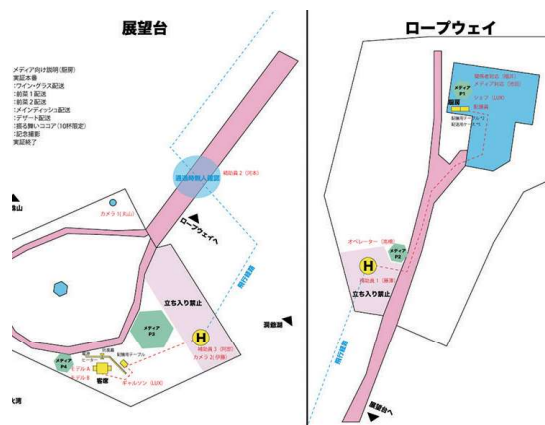
天候：晴れ

外気温：-5℃

風速：4m/s

飛行経路：有珠山ロープウェイ山麓駅から有珠山火山口原展望台まで 250m

山麓駅内で調理フランス料理をコースに合わせて配送し、料理の提供温度や盛り付け状態、配送時間を検証しました。



法規制等

人または物件から 30m 以内の飛行（航空法第 132 条の 2 第 1 項第 7 号）、危険物輸送（航空法第 132 条の 2 第 1 項第 9 号）、物件投下（航空法第 132 条の 2 第 1 項第 10 号）、「物件の吊り下げ」：機体改造に該当するため個別申請および航空局標準マニュアルを変更して申請、国有林入林届（後志森林管理局）、有珠山ロープウェイ管理者協力（わかさりゾート株式会社）、環境省洞爺湖管理官事務所および伊達市総務部への確認。

実施手順

1. 有珠山ロープウェイ山麓駅内に設置した簡易厨房で出来立ての料理を専用に設計した配送ケース内に収納します。配送ケース内は皿の形状に沿った留め具とヒーターが搭載されています。
2. 配送ケースに料理を収納します。料理に使う皿専用の形状に留め具を作成しました。ケーブルの長さは、プロペラのダウンウォッシュの影響が少ない5mとしました。それ以下は影響を受け配送ケースの振動が大きくなります。
3. 配送中は、2~3m/s程度の速度を維持して飛行しました。料理への影響を少なくなるよう操作は前進と上下動のみとし、ケーブルの2箇所にはスィベル機構を設けて配送ケースが緩やかに回転するようにしました。
4. 荷物の到着時は、地面に接触と同時にフックが自動的に外れるようになっているため、着陸する必要がなく配送可能です。またドローンのカメラを真下向きに取り付けているため荷物の状態を確認しながら行いました。
5. 山頂の客席では、テーブルと椅子のほかカーボンヒーターや防風幕を用意しました。海・山・湖に囲まれた絶景の中で男女2名にフレンチフルコースを味わっていただきました。
6. ワイン〜前菜2品〜メイン〜デザート〜の合計5往復の配送を実施しました。全体で1時間半のフレンチフルコースを滞りなく実施しました。盛り付けされた料理はどれも崩れることなく温かいままの温度で提供されました。



簡易厨房



料理の受取り



山頂に向けて離陸



料理の到着・切り離し



客席



配送された料理

検証結果

苗木運搬用ドローンを使用してフレンチフルコースの配膳をすることができました。料理については、地元フランス人シェフの協力で本格フレンチを提供いただきました。氷点下の中、提供温度は出来立てとほぼ変わらず、盛り付けに関しても崩れることなく問題ありませんでした。今回は安全のため操縦者 1 名のほかに補助員を 3 名とシェフ 1 名、ギャルソン 1 名の合計 6 名を配置して実施しました。



配送中のドローン

体験者の感想

有珠山の素晴らしい景色に囲まれながら食べるフレンチは最高でした。出来立てで温かくてドローンで運んだと言われなければ、気づかないと思います。

会社役員 男性

本格的な料理を展望台の上で食べられると思っていませんでした。ドローンが身近に感じられて貴重な経験になりました。

会社員 女性

シェフの感想

すごく面白かったです。温かいのも冷たい料理も完璧です。これからの新しいレストランのスタイルを感じました。

LUX TOYA シェフ バスチャン・ロリオ氏



操縦者画面

まとめ

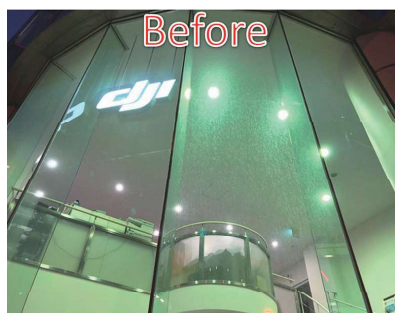
検証の結果、苗木運搬用ドローンを使用して料理を運ぶことができることがわかりました。今回は 2 名の体験者を対象に実施しましたが、ドローンの積載重量に余裕があるので、配送ケースを大型のものを使用すれば、8 人分かそれ以上の料理を配送することが可能だと思います。料理提供側のスタッフは 6 名を配置していますが、高級フレンチのケータリングサービスは、富裕層向けに 1 人あたり 5 万円～ 10 万円程度で提供されるため、人件費や材料費を含めても採算が合う事業として展開できる可能性があります。各許可申請や届出、施設管理者への説明などに課題はありますが、前例ができてくれば十分実用できると期待できます。

	1 回目	2 回目	3 回目
配送時間	7 分	5 分	4 分
提供温度	40℃	40℃	43℃
盛り付け状況	異常なし	異常なし	異常なし

※一般客の通行によりドローンが待機する必要があったため、配送時間に変動がありました。

実証の目的

安全に安価な選択肢として農薬散布用ドローンを利用して外壁洗浄が出来るかを検証します。一般的に高層建築物のガラス面などを洗浄する場合、足場・ゴンドラ、ロープアクセス等の方法で行います。農薬散布ドローンの下部に洗浄ノズルとホースを取付し、タンクと繋ぐことで大量の水で水圧による洗浄が可能になります。洗浄性やコスト面で優位性があるかデータを取りました。



商業ビル（ガラス）

実施概要

場 所：北海道札幌市
（札幌駅近郊商業ビル）
日 時：2023年12月8日
天 候：晴れ
外 気 温：3℃
風 速：2m/s
飛行経路：商業ビルガラス面
幅 1.2m 高さ 8m（約 9.6 m²）

商業ビルガラス面を人による洗浄、ドローンによる洗剤散布、ドローンによる高圧洗浄の3種類の洗浄性、作業時間を比較しました。



商業ビル（タイル）

使用機種

使 用 機 種：DJI 社製 AGRAS T10
高 圧 洗 浄 機：ケルヒャー K2
洗 浄 ノ ズ ル：市販品一部改造の上取付

機体名	AGRAS T10
サイズ	対角 1,480mm
重量	12.2Kg
最大飛行時間	17 分
推奨動作温度	0℃~45℃
風圧抵抗	8m/s

洗 剤	
主要成分	塩化ナトリウム
散布目安	50g/m ²
価 格	154 円 /Kg

法規制等

道路交通法（道路使用許可）、人口密集地上空における飛行（航空法第 132 条第 1 項第 2 号）、人または物件から 30m 以内の飛行（航空法第 132 条の 2 第 1 項第 7 号）、危険物輸送（航空法第 132 条の 2 第 1 項第 9 号）、物件投下（航空法第 132 条の 2 第 1 項第 10 号）、航空法許可申請は、洗浄ノズルが一部機体の改造に該当するため改造機として包括許可承認取得。



実施手順

1. 延伸式の高所用モップを使用して人力によるガラス面の洗浄をしました。汚れが目視でなくなるまで擦り、作業時間と洗浄性とコストを計測しました。
2. ドローンに散水ノズルを取付てタンクに洗剤をいれてガラス面を洗浄しました。水圧はほぼなく洗剤の洗浄力に期待した洗浄方法（ソフト洗浄）で作業時間と洗浄性とコストを計測しました。
3. 市販の高圧洗浄機のノズル部をドローンに取り付けて、ポンプは水道と直結して水圧による洗浄を行いました。（※天候の影響により飛行せずドローン洗浄と同一距離からの高圧洗浄）。



モップによる手拭き洗浄



ドローン洗浄



高圧洗浄

検証結果

検証の結果、ソフト洗浄は、自前のタンクから取水するため機動性が高く使い勝手が良いものの、洗浄力については鱗状の汚れが残る物足りない結果となりました。ただし洗剤を見合ったものを選定すれば、しっかり洗浄できた可能性があります。高圧洗浄機を搭載した場合では、水圧で洗浄できるため人力と比べて遜色ない程度の洗浄性が確認できました。作業時間についてはドローンの方が手拭き洗浄より早い結果になりました。



ガラス面 洗浄後



タイル面 洗浄後

	手拭き洗浄	ソフト洗浄	高圧洗浄
作業時間	9.5 分	2.5 分	未計測
洗浄性	◎	△	○
使用水量	1L	10L	10L

※手拭き洗浄時間は人力によるアマチュア作業のため、プロ清掃員の場合より所用時間がかかっています。

まとめ

検証の結果、農薬散布用ドローンを使用して外壁洗浄をすることができました。今回はガラス面を対象としましたが、サイディングやタイル、鉄などの素材での洗浄効果について検証することで、さらに応用が広がる可能性があります。ソフト洗浄については実用可能な結果が得られませんでした。洗剤を変えることで今回と違った結果になる可能性があります。注意事項としては、障害物センサーがガラス面に不安定に反応して障害物センサーが動作しない等のエラーが発生しました。また高圧洗浄機の機種によっては水圧の影響で飛行に影響を与える可能性があるため、使用する機材をしっかりと試験することをおすすめします。外壁洗浄を行う専門家の意見では、洗浄以外にも撥水処理やコーティング剤の施工に使用できれば需要が広がる可能性があるという意見をいただきました。先行事例として、海外ではすでにドローンの外壁洗浄専門の会社が立ち上がっており、外壁洗浄専用のドローンも発売しています。



高圧洗浄機の取付



その他の洗浄

実証の目的

橋梁点検で使われている非 GNSS 自動飛行システムを使ってコンクリート法面での出来型用の自動飛行を行います。これまで人が法面へ登り、仕上り精度を確認していました。最近はドローンで精度確認を行っていますが、衛星不感地帯では手動で飛行する必要があります。橋梁点検用の自動飛行システムを活用することが可能かと作業時間や精度について優位性があるか検証を行います。



手動シャッターによる撮影

実施概要

場 所：北海道茅部郡鹿部町
(治山工事現場内)

日 時：2023 年 11 月 9 日

天 候：晴れ

外 気 温：13℃

風 速：2m/s

飛行経路：治山工事法面上空

橋梁点検用の自動飛行システムを使用し、GNSS に頼らず障害物回避センサーの情報から自己位置を推定し対象物と常に正体しながら自動飛行します。



急斜面と階段

使用機種

使 用 機 種：DJI 社製 MATRICE300RTK
カ メ ラ：DJI 社製 Zenmuse L1
自動飛行システム：FLIGHTS 社製 MATRICE300RTK-i
点 群 解 析：DJI 社製 TERRA
精 度 検 証：福井コンピュータ社製 TRENDPOINT

機体名	DJI MATRICE300RTK
サイズ	対角 895mm
重量	6.3Kg
最大飛行時間	55 分
推奨動作温度	-20℃~50℃
風圧抵抗	12m/s

自動飛行システム	FLIGHTS MATRICE300RTK-i
自律制御	ビジョンカメラ / 赤外線
クラック検出	0.3mm
機 能	ラップ撮影

法規制等

人または物件から 30m 以内の飛行
(航空法第 132 条の 2 第 1 項第 7 号)



実施手順

1. コンクリート法面の出来型管理用のドローンを写真測量で、手動による飛行と橋梁点検用の自動飛行を実施しました。それぞれ同じドローンとカメラを使用して条件を揃えています。



ドローン計測

2. 手動による撮影と自動飛行による撮影によって取得した画像をそれぞれ SFM ソフトウェアで解析し、点群データを生成しました。撮影枚数と飛行時間のデータを比較して整理しました。



自動飛行画面

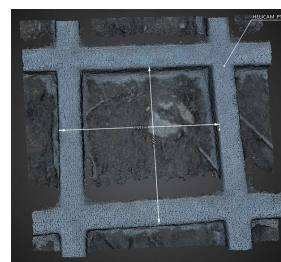
3. 精度検証として点群処理ソフトで同一位置で断面解析をして X 軸、Y 軸、Z 軸のそれぞれの精度を比較しました。



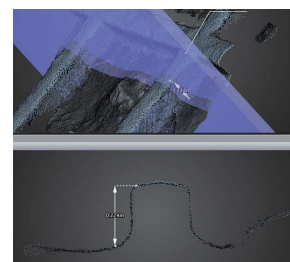
写真から点群

結果とまとめ

検証の結果、自動飛行を行うことで撮影枚数を減らすことができ、手動飛行と比べて計測時間では半分程度、データ処理時間では3分の1程度に減らすことができました。また精度に関してどちらも差はなく、誤差は10mm以内に収まっており、出来型管理要領の基準を満たすことができました。ただし今回使用した自動飛行用システムは、橋梁点検用のため急勾配に対応しておらず、エラーが頻発することがありました。閾値設定を見直すことで改善できましたが、法面形状によっては対応できない場合が考えられます。今後、似た環境であるダムでの計測にも応用できる可能性があります。



XY 方向精度



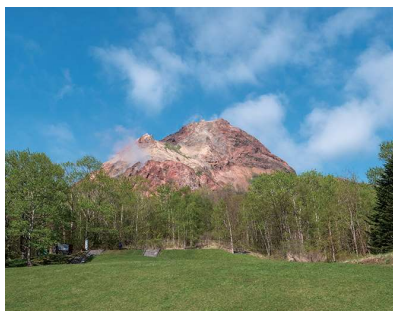
Z 方向精度

	手作業	ドローン手動	ドローン自動
撮影枚数	——	550 枚	180 枚
計測時間	100 分	45 分	20 分
データ処理	60 分	60 分	20 分
作業人員	3 名	1 名	1 名

※手作業の結果は作業員へのヒアリングに基づきます。

実証の目的

サーチライト搭載ドローンで日没後の有珠山の山頂や噴煙に向けてドローンからサーチライトを上空のあらゆる方向から照射することで幻想的な空間を演出し、観客の方に楽しんでもらうことができるか検証します。また効果的なライトアップ演出方法として、どのような方法があるか検証して整理しました。



昭和新山

実施概要

場 所：北海道有珠郡壮瞥町（昭和新山）
日 時：2024年2月6日
天 候：晴れ
外 気 温：-7℃
風 速：1m/s
飛行経路：昭和新山 山頂およびその周囲

サーチライト搭載ドローンで日没後の昭和新山を上空から照らすライトアップを行い、観覧者から感想をもらいました。



ドローンによるライトアップ

使用機種

使 用 機 種：DJI 社製 MATRICE350RTK
サ ー チ ラ イ ト：CZI GL60 PLUS
使 用 機 種 2：DJI 社製 MATRICE300RTK
サ ー チ ラ イ ト：CZI LP12

機体名	MATRICE350RTK
サイズ	対角 895mm
重量	6.3Kg
最大飛行時間	55 分
推奨動作温度	-20℃~50℃
風圧抵抗	12m/s

サーチライト	GL60 plus
サイズ	126×131×167mm
出 力	128W
光 束	13400lm

法規制等

夜間飛行（航空法第 132 条の 2 第 1 項第 5 号）、国有林入林届（後志森林管理局）、私有地のため地権者の同意、有珠山ロープウェイ管理者協力（わかさリゾート株式会社）、環境省洞爺湖管理官事務所および伊達市総務部への確認。



実施手順

1. 日没後の昭和新山をサーチライト搭載のドローンを使用してライトアップします。山頂や噴煙を照らすことで幻想的な昭和新山を観ることができます。
2. ドローンのサーチライトにカラーフィルターを取り付けることで様々な表現が可能になります。演出に合わせた色味によって映し出す対象物の表情が変わります。
3. 樹木の裏からサーチライトをあてると、雪面が白いキャンバスとなって樹木の影が落ちます。光と影を作る天然のプロジェクションマッピングのような体験ができます。



噴煙のライトアップ



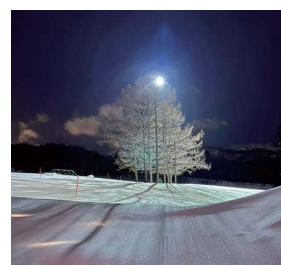
カラーフィルター（赤）



樹木のライトアップ

結果とまとめ

検証の結果、サーチライトを使用してライトアップ演出に使用することができました。ドローンを夜間に飛行させるため難易度が高いものになります。またドローンの位置、ライトの方向、客席の位置と3つの要素を意識しながら飛行を行うので、事前の飛行計画が重要になります。日中に自動飛行の経路を作っておけば、再現性の高い演出が可能になると思います。さらに音楽と組み合わせることによって完成度の高いイベントとして発展が期待できます。以下に今回の環境での演出パターンと難易度をまとめました。



シンボルツリー



鑑賞中の観客

	効果	難易度
遠くからライトアップ	△	低
真上からライトアップ	○	中
後方からライトアップ	○	高
周遊しながらライトアップ	○	高
2台同時飛行	○	高

実証の目的

精密農業で使用される近赤外線カメラを搭載したドローンのマルチユース例。近赤外線カメラの反射特性を使って不法投棄されたゴミの検出ツールとして活用できるか検証しました。ドローンで発見できれば、上空から廃棄物を素早く網羅的に発見することが期待できます。不動産会社や自治体、林業など活用の幅がひろがり、業界を跨いだマルチユースが期待できます。



スキー場跡地

実施概要

場 所：北海道札幌市（スキー場跡地）
日 時：2023年11月21日
天 候：晴れ
外 気 温：11℃
風 速：3m/s
飛行経路：札幌市内スキー場跡地上空

布類、ゴム、木類、プラスチック、金属の5種類の素材を草地、砂利、土の上に置いて近赤外線カメラで撮影し、それぞれ可視カメラと比較して検出優位性があるか確認しました。



素材の違う検出対象

使用機種

使 用 機 種：DJI 社製 MAVIC3 MULTISPECTRAL
オ ル ソ 作 成：DJI 社製 TERRA
近 赤 外 解 析：PIX4D FIELDS

法規制等

特になし。

機体名	MAVIC3 Multispectral
サイズ	対角 380mm
重量	0.95Kg
最大飛行時間	43分
推奨動作温度	-10℃~40℃
風圧抵抗	12m/s

近赤外線カメラ	マルチスペクトルカメラ
センサー	1/2.8CMOS 5MP
波長帯域	G:560nm/R:650nm/ RE:730nm/NIR:860nm



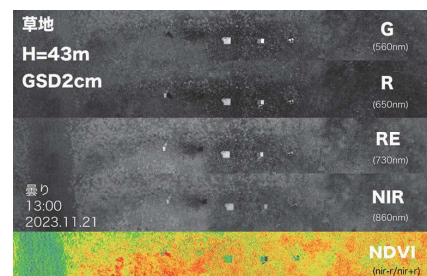
実施手順

1. 近赤外線カメラ搭載ドローンを使用し、上空から草地に並べた廃棄物（ゴム、布、木材、礫、金属、プラスチック）を撮影して素材の違いによる特徴があるかを確認しました。



素材ごとに撮影

2. 各波長（可視光、グリーン、レッド、レッドエッジ、NIR）での背景（草地、砂利、土）による見え方の違いを比較しました。素材の反射と対象物の色による影響により、検出性が異なることがわかりました。



波長による見え方の違い

3. オルソフォトでの広域の検出性に優位性があるか確認しました。広域をオルソフォトで検出作業をした場合、レッド（650nm）は可視光と比べて若干の優位性が確認できました。



近赤外線画像を利用したオルソ

結果とまとめ

検証の結果、近赤外線カメラを搭載したドローンによる廃棄ゴミの検出は、素材や色によって検出できるものがありますが、様々な廃棄ごみを草や土と分類して検出するのはいくつか課題があります。可視カメラと比較しても大きな優位性を見つけることができませんでした。今後の課題としてはプラスチックや布などそれぞれの分光反射特性を事前に分析して特定波長のみを抽出するようにすれば、狙った素材のものを検出できる可能性があります。

GSD2cm	布	ゴム	木材	PLA	金属
可視光 (400~800nm)	△	×	○	○	○
グリーン (560nm)	△	×	○	△	○
レッド (650nm)	○	×	○	○	○
レッドエッジ (730nm)	○	×	○	○	×
NIR(860nm)	×	×	△	△	×

オルソフォトで広域を探す場合、可視カメラ (RGB) と比較してある程度の高高度であっても検出できる可能性があります。しかし廃棄物の色や素材による影響を受けます。

GSD2cm	布	ゴム	木材	PLA	金属
可視光 (400~800nm)	×	×	△	△	×
レッド (650nm) 草地	×	×	○	○	×
レッド (650nm) 土	△	×	○	○	×

実証の目的

主に測量で使用される RTK や高性能カメラを搭載したドローンのマルチユース例。測量技術を応用した 3D モデルで風力発電の自動点検が実現できます。風力発電の点検は、法定点検、月時点検、落雷等での点検など随時行なわれています。ドローンを使った自動点検をすることで、効率の向上・品質の安定が期待できます。



風力発電

実施概要

場 所 : 北海道石狩市
 日 時 : 2023 年 10 月 25 日
 天 候 : 晴れ
 外 気 温 : 19℃
 風 速 : 4m/s
 飛行経路 : 120m 級の風力発電
 (ブレード、ナセル)

従来の手動飛行と点群を使用した自動飛行を比較して、撮影時間、撮影枚数、撮影品質がどの程度違うか検証しました。



ブレードとナセル

使用機種

使 用 機 種 : DJI 社製 MAVIC3 ENTERPRISE
 点 群 作 成 : DJI 社製 TERRA
 自 動 飛 行 : DJI 社製 FLIGHT HUB2

機体名	MAVIC3 ENTERPRISE
サイズ	対角 380mm
重量	0.91Kg
最大飛行時間	45 分
推奨動作温度	-10℃~40℃
風圧抵抗	12m/s

ジンバルカメラ	広角カメラ
センサー	4/3CMOS 20MP
FOV	84°
RTK 測位精度	H=1cm,V=1.5cm(+1ppm)

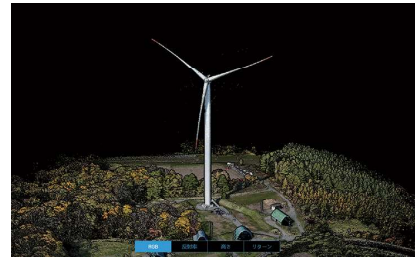
法規制等

特になし。

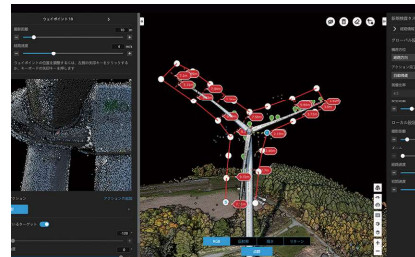


実施手順

1. 測量用 RTK 搭載のドローンを使用して写真測量を行い、3D データを作成しました。
3D データ（点群）の作成は、レーザースキャナ搭載ドローンでも作成できますが、写真測量の品質で問題ありませんでした。
2. 作成した 3D モデル上に点検のための自動飛行ルートを作成します。
対象物からの離隔距離や撮影間隔を定義することで、事前に飛行時間を確認することができます。
3. 風車を飛行ルート作成時と同じ角度で停止させ、作成した自動飛行ルートでドローンに取り込み、現地で自動飛行を実行することで自動点検が可能です。
自動飛行ルートを保存しておくことで次回以降も同様の飛行が再現可能になります。



点群モデル



3D モデル上の点検計画



ドローンによる点検

結果とまとめ

検証の結果、測量用 RTK 搭載のドローンを使用した風力発電の自動飛行点検に活用できます。手動飛行に比べて飛行時間、データ整理の時間を 3 分の 1 程度に削減ができました。またドローンオペレーターの習熟度に依存することなく、データを安定的に撮影することが可能であるため、経年変化や早期異常発見も期待できます。初回の自動飛行ルートを生成するために、点群データを生成する手間が発生しますが、それ以上の効果が期待できます。

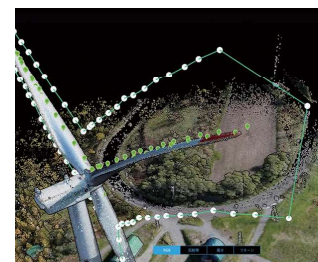


手動飛行



自動飛行

手動と自動の違い



詳細検査への応用

	手動飛行	自動飛行	結果
飛行時間	47 分	15 分	○
撮影枚数	200 枚	84 枚	○
データ整理	ランダム	不要	○
撮影品質	△	○	○
必要人員	1～2 名	1～2 名	○

実施目的

各実証実験における安全を確保するために、マルチユースで使用するドローンを、屋外の低温環境下で、実証設計で想定したルートを実際に飛行させて各種データを取得しました。今後の社会実装を見据えて、低温環境下でのバッテリーの状態や各種センサーの挙動、エラーの内容を整理しました。

実施方法

冬季実証実験と同様の場所と飛行ルートで、気象条件、飛行時間、ルート、バッテリーの温度変化、機材への影響やエラーの発生状況についてデータ取りました。ア) 機体、バッテリーともに屋外放置した場合、イ) 機体のみ屋外放置、バッテリーは常温環境においた場合、ウ) 機体、バッテリーともに常温環境においた場合の3通りについて比較データを取得しました。

冬季環境テスト

1. レーザースキャナ搭載ドローンによる堆雪量計測実証

場 所	北海道留萌市	風 速	4m/s
日 時	2024 年 1 月 17 日	飛行距離	1,800m
天 候	曇り	使用機種	DJI 社製 MATRICE350RTK
外 気 温	-1℃		

条 件	機体表面 温度	BT 温度 (離陸時)	BT 温度 (飛行中)	BT 温度 (着陸時)	飛行 時間	カメラ	ジンバル	障害物 センサー	下方 ビジョン	電波 感度
ア_両方屋外放置	3.8℃	18.4℃	22.6℃	26.5℃	9 分	異常 なし	異常 なし	異常 なし	異常 なし	異常 なし
イ_機体のみ屋外	4.3℃	19.1℃	22.5℃	26.3℃	9 分	異常 なし	異常 なし	異常 なし	異常 なし	異常 なし
ウ_両方常温	17.6℃	22.5℃	26.6℃	30.5℃	11 分	異常 なし	異常 なし	異常 なし	異常 なし	異常 なし
発生エラー等	※バッテリー自己発熱機能搭載									

冬季環境テスト

2. 粒剤散布装置搭載ドローンによる屋根雪庇の融雪実証

場 所 : 北海道札幌市
 日 時 : 2024 年 2 月 17 日
 天 候 : 曇り
 外 気 温 : -1℃

風 速 : 1m/s
 飛行距離 : 100m
 使用機種 : DJI 社製 AGRAS T10

条 件	機体表面 温度	BT 温度 (離陸時)	BT 温度 (飛行中)	BT 温度 (着陸時)	飛行 時間	カメラ	ジンバル	障害物 センサー	下方 ビジョン	電波 感度
ア_両方屋外放置	8℃	5.1℃	8℃	10℃	2 分	異常 なし	非搭載	異常 なし	非搭載	異常 なし
イ_機体のみ屋外	9℃	13.2℃	15℃	16℃	2 分	異常 なし	非搭載	異常 なし	非搭載	異常 なし
ウ_両方常温	14℃	12.2℃	15℃	17℃	2 分	異常 なし	非搭載	異常 なし	非搭載	異常 なし
発生エラー等	特になし									

3. 苗木運搬ドローンによるフレンチフルコースの配送実証

場 所 : 北海道有珠郡壮瞥町
 日 時 : 2024 年 2 月 7 日
 天 候 : 曇り
 外 気 温 : -5℃

風 速 : 3m/s
 飛行距離 : 300m
 使用機種 : DJI 社製 AGRAS T30

条 件	機体表面 温度	BT 温度 (離陸時)	BT 温度 (飛行中)	BT 温度 (着陸時)	飛行 時間	カメラ	ジンバル	障害物 センサー	下方 ビジョン	電波 感度
ア_両方屋外放置	2.6℃	4.7℃	13.6℃	16℃	6 分	異常 なし	非搭載	異常 なし	非搭載	異常 なし
イ_機体のみ屋外	4℃	2.6℃	11.1℃	13.8℃	5 分	異常 なし	非搭載	異常 なし	非搭載	異常 なし
ウ_両方常温	14℃	12.2℃	13.7℃	15.7℃	5 分	異常 なし	非搭載	異常 なし	非搭載	異常 なし
発生エラー等	冷えた状態のバッテリーは満充電で残量が 75% 表示でした。									

まとめ

冬季環境テストの結果、発生した異常は 1 件のみでした。③苗木運搬ドローンによるフレンチフルコースの配膳実証での冬季環境テストの際にバッテリーが満充電にもかかわらず表示残量が 75% で表示される症状でした。離陸後にバッテリーが暖気されてくると表示が改善されました。また「サーチライト搭載ドローンによるライトアップ演出実証」の際にヒヤリハットがありました。暖気された車内でドローンを放置した後に氷点下の屋外に持ち出して、数分待たずに飛行した際に FPV モニターが凍結し、前方が確認できないトラブルに遭遇しました。すぐに撮影用カメラに切り替えたため、大きなトラブルには繋がりませんでした。原因は、屋外と車内との温度差によって結露したものと思われます。氷点下で飛行する際に結露によって凍結が疑われる場合は、飛行前にカメラレンズやセンサーレンズ等の確認を行うことをお勧めします。



凍結した FPV カメラ

発 行： 令和 6 年（2024 年）4 月
編 集： 有限会社バンクスイターナショナル
BAGUA design



ほっかいどうドローンワンストップ窓口について

北海道庁ではドローンに関するワンストップ窓口を設置しています。
ドローン全般に関する相談対応やマッチング支援、HP での情報発信
などを総合的に行っていますので、お気軽にお問い合わせください。

<https://www.pref.hokkaido.lg.jp/ss/dtf/drone/top.html>